

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/321289113>

# PREVISIONE DEGLI EFFETTI DA LIQUEFAZIONE SU SCALA URBANA

Conference Paper · May 2017

CITATIONS

0

READS

64

3 authors:



**Luca Paoletta**

Università degli studi di Cassino e del Lazio Meridionale

3 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Gabriele Chiaro**

University of Canterbury

72 PUBLICATIONS 364 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Rose Line Spacagna**

Università degli studi di Cassino e del Lazio Meridionale

14 PUBLICATIONS 47 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Mega Quakes: Cascading Earthquake Hazards and Compounding Risks [View project](#)



Liquefaction potential and cyclic deformation of NZ gravelly soils [View project](#)

# PREVISIONE DEGLI EFFETTI DA LIQUEFAZIONE SU SCALA URBANA

Luca Paoletta (paoletta.luca1@gmail.com)  
*Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale*

Rose Line Spacagna (rlspacagna@unicas.it)  
*Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale*

Gabriele Chiaro (gabriele.chiaro@canterbury.ac.nz)  
*University of Canterbury (Christchurch, Nuova Zelanda)*

## ABSTRACT.

Nel presente articolo si illustra una procedura per il processamento automatizzato di prove CPT, il calcolo di vari indici di liquefazione e la rappresentazione dei dati su mappa. La procedura è applicata al caso studio del terremoto di Christchurch, Nuova Zelanda, del 22 febbraio 2011 (magnitudo momento,  $M_w = 6.2$ ). Dall'analisi spaziale dei risultati emerge una buona correlazione tra le mappe ottenute per l'indicatore degli effetti al suolo e i danni osservati (su terreni e strutture). Tuttavia, per confermare la validità di tale procedura, sarà necessario esaminare ulteriori casi studio nel mondo.

## 1. Introduzione

Recenti fenomeni sismici nel mondo (Haiti, 2010; Tohoku, Giappone, 2011; Christchurch, N.Z., 2010-2011 e 2016; Kumamoto, Giappone, 2016) ed in Italia (Emilia, 2012) hanno mostrato l'importanza della liquefazione dei terreni nella valutazione della perdita economica.

Nell'ingegneria geotecnica, la valutazione del potenziale di liquefazione, ovvero del rischio di attivazione del fenomeno in coincidenza dell'evento sismico atteso, rappresenta un tema centrale. Tale aspetto viene comunemente affrontato attraverso l'utilizzo di metodi "semplificati" che mettono in relazione osservazioni empiriche di casi storici di liquefazione con i parametri meccanici del terreno misurati attraverso prove in-situ. Molto usate sono le prove CPT (Cone Penetration Test) perché rapide, economiche e adatte alla stima del potenziale di liquefazione di un deposito al variare della profondità in quanto forniscono un profilo continuo (lungo una verticale) delle proprietà del terreno. A livello puntuale, il verificarsi o meno del fenomeno viene valutato calcolando il Fattore di Sicurezza a Liquefazione ( $FSL$ ), dato dal rapporto tra il Cyclic Resistance Ratio " $CRR$ " (la resistenza limite del terreno alla liquefazione) e il Cyclic Stress Ratio " $CSR$ " (la domanda sismica relativa al terremoto di progetto). Poiché la liquefazione sismica riguarda spesso lenti sabbiose confinate, di varia estensione, studiarla alla scala puntuale può risultare riduttivo ai fini dell'analisi di rischio. Occorre quindi operare il passaggio da un livello puntuale ad una scala areale. Ciò implica la necessità di processare una quantità notevole di dati. In questo lavoro, viene presentata una procedura per l'automatizzazione e la rappresentazione dei dati, utile alla pianificazione territoriale nell'ambito della gestione del rischio da liquefazione. In particolare lo studio viene applicato al caso storico del terremoto di Christchurch del 22 febbraio 2011 ( $M_w = 6.2$ ).

## 2. Indici di potenziale liquefazione

Il potenziale di liquefazione di un deposito viene stimato con un approccio deterministico, calcolando, per ciascuno degli strati investigati, il fattore di sicurezza  $FSL$ , ottenuto come:

$$FSL = \frac{CRR}{CSR} \quad (1)$$

Nei metodi di verifica tradizionali, l'azione sismica è definita dal  $CSR$ , ovvero dal rapporto tra lo sforzo tangenziale indotto dal sisma e lo stato tensionale in sito (Seed ed Idriss, 1971), ottenuto introducendo inoltre una magnitudo momento ed un'accelerazione massima associate al sisma. Il  $CRR$ , invece, può essere valutato applicando numerosi metodi proposti in letteratura. Nell'ambito di questo lavoro, sono stati considerati i metodi di Robertson e Wride (1998) ed Idriss e Boulanger (2008 e 2014). Tutti e tre partono dalla ricostruzione del profilo stratigrafico, basata sui valori dell'indice  $I_c$ , definito dalla carta di Robertson (1990). Successivamente, attraverso un processo iterativo, i parametri meccanici misurati vengono normalizzati ed eventualmente incrementati per tener conto della presenza di materiale a granulometria fine. Quindi, mediante espressioni analitiche, si valuta la resistenza limite alla liquefazione. L'individuazione degli strati liquefacibili consiste nel verificare la porzione di sottosuolo in cui la  $FSL$  risulta minore o uguale all'unità, a patto che l' $I_c$  sia compreso tra 1.31 e 2.6 (intervallo corrispondente a terreni sabbiosi) e che lo strato si trovi in condizioni sature. A partire dal fattore di

sicurezza *FSL* si valutano quindi diversi indicatori degli effetti al suolo, come: “Liquefaction Potential Index” o “*LPI*” (Iwasaki et al., 1978), cedimenti post-liquefazione “*w*” (Zhang et al., 2002), “Liquefaction Severity Number” o “*LSN*” (van Ballegooy et al., 2014).

### 3. Valutazione territoriale del potenziale di liquefazione

La natura stessa del fenomeno della liquefazione comporta la necessità di analizzare i dati di input in maniera puntuale salvo poi interpolare le informazioni ottenute per le diverse verticali indagate per creare un quadro d'insieme. In questo modo si può valutare lo specifico rischio da liquefazione oppure quello sismico di base. A tale scopo, in questo studio, sono stati individuati due passaggi fondamentali (Figura 1):

- l'**automatizzazione** del processo di verifica tradizionale, cioè la possibilità di esaminare più prove (CPT nello specifico) con un unico comando, applicando i principi teorici dei metodi deterministici precedentemente richiamati;
- la **rappresentazione** dei risultati su piattaforma GIS (*Geographical Information System*) mediante approccio geostatistico, studiando in particolare la variabilità spaziale dei parametri descrittivi del fenomeno.

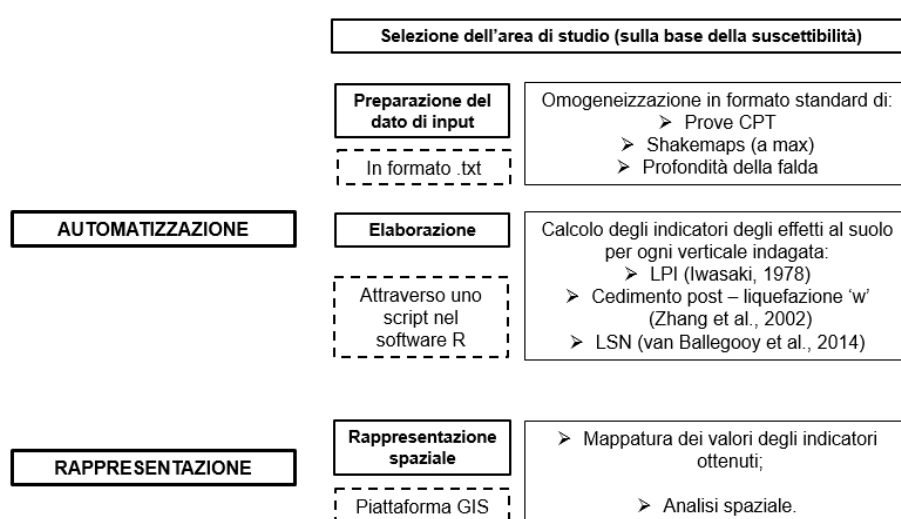


Figura 1. Schema della procedura di valutazione territoriale del potenziale di liquefazione.

In Figura 1 è illustrata la procedura seguita per la valutazione territoriale degli indicatori degli effetti di liquefazione al suolo. Sulla base della suscettibilità si individua l'area di studio, per la quale è necessario reperire le indagini geotecniche disponibili, conoscere magnitudo momento e accelerazione massima legate al sisma e profondità della falda. Per la corretta automatizzazione del processo, i dati di input devono essere omogeneizzati in modo da fornire un'informazione di base standardizzata. Quindi, con un programma messo a punto nel software R ([www.r-project.org](http://www.r-project.org)), si procede all'elaborazione dei dati, ovvero al calcolo degli indicatori del danno da liquefazione al suolo per ogni verticale indagata. Il passo successivo prevede la mappatura su piattaforma GIS, mediante analisi geostatistica, dei risultati ottenuti. Tale operazione consente di estrapolare le informazioni anche nelle zone non indagate direttamente. Si dispone così di uno strumento di previsione utile nella pianificazione del territorio e nella gestione/mitigazione del rischio sismico.

Alcuni software permettono di eseguire (puntualmente) verifiche a liquefazione partendo da prove in-situ e calcolando i suddetti indici secondo le procedure tradizionali. Questi tuttavia non sono adeguati al trattamento di una gran mole di dati, né allo studio della distribuzione spaziale dei risultati.

### 4. Il caso di studio di Christchurch, Nuova Zelanda

Christchurch, seconda città della Nuova Zelanda per numero di abitanti, è nota alle cronache per l'importante sequenza sismica del 2010 – 2011 caratterizzata da diffusi fenomeni di liquefazione soprattutto durante il terremoto del 22 febbraio 2011 ( $M_w$  6.2). Altri casi di liquefazione sono stati osservati a Nord della città nel 2016, connessi agli eventi del 14 febbraio ( $M_w$  5.7).

In Figura 2 si evidenziano le faglie che hanno innescato la sequenza sismica del 2010-2011 e alcuni danni causati dalla liquefazione al suolo ed alle infrastrutture.

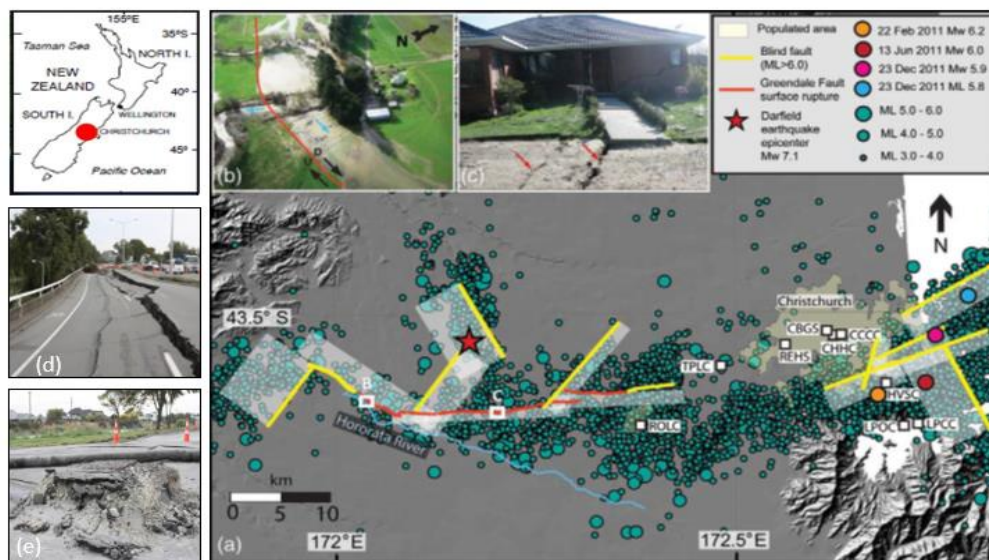


Figura 2. a) Localizzazione degli epicentri degli eventi sismici (del 2010-2011) aventi  $M_w > 3.0$ ; b, c, d, e) esempi di danni su infrastrutture e condotte idriche causati dalla liquefazione del terreno.

## II New Zealand Geotechnical Database (NZGD)

In seguito alla sequenza sismica, il Governo Neozelandese ha istituito un database, sviluppato e aggiornato continuamente da soggetti pubblici e privati, per facilitare la ricostruzione e la condivisione dei dati. Ad aprile 2016, il *New Zealand Geotechnical Database* contava: 22500 prove CPT, 4900 fori di sondaggio, 1000 misure piezometriche, 6000 prove di laboratorio più altri dati elaborati e mappe. Vista la grande mole di dati disponibili per l'area di studio, è evidente l'importanza di poter disporre di un mezzo affidabile e veloce per l'elaborazione automatizzata degli stessi, ma anche la necessità di rappresentarli per l'analisi spaziale dei risultati.

Dal suddetto database sono state selezionate ed elaborate (applicando la procedura precedentemente illustrata) 350 prove CPT relative al distretto economico centrale della città (Christchurch CBD), le cui informazioni sono state integrate da quelle di 50 fori di sondaggio (Figura 3).

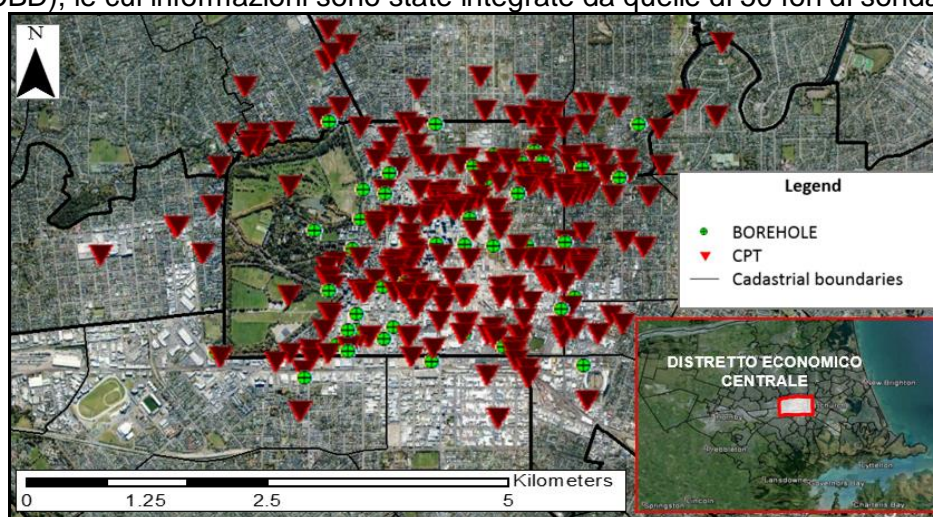


Figura 3. Individuazione dei dati disponibili dal *New Zealand Geotechnical Database* per l'area di studio

## Analisi e Risultati

Per ognuna delle 350 prove CPT sono stati valutati in maniera automatizzata i valori di LPI, w ed LSN in relazione al terremoto del 22 febbraio 2011. Attraverso l'analisi geostatistica eseguita su GIS, è stato possibile elaborare delle mappe degli indicatori stessi. In particolare, in Figura 4, si riporta la distribuzione spaziale dell'indice LSN calcolato con il metodo di Idriss e Boulanger 2014 confrontandola con gli effetti osservati al suolo. Tranne per la zona del Giardino Botanico, per cui il database non dispone di prove CPT, si può osservare una buona correlazione nella parte centrale (in azzurro) ed alle estremità Nord Est e Sud Est dell'area di studio.



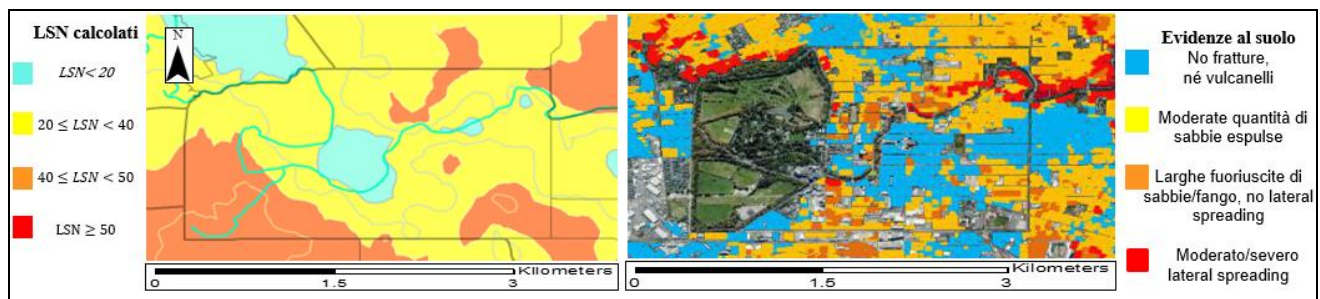


Figura 4. Confronto tra valori di LSN calcolati ed effetti di liquefazione osservati al suolo.

Allo stesso modo, sono state messe a confronto le mappe dei cedimenti calcolati (Zhang et al., 2002) e quelli rilevati attraverso tecnologia LIDAR (Figura 5). In questo caso i risultati non presentano lo stesso livello di correlazione, probabilmente a causa di limitazioni nel metodo teorico e nella tecnologia LIDAR.

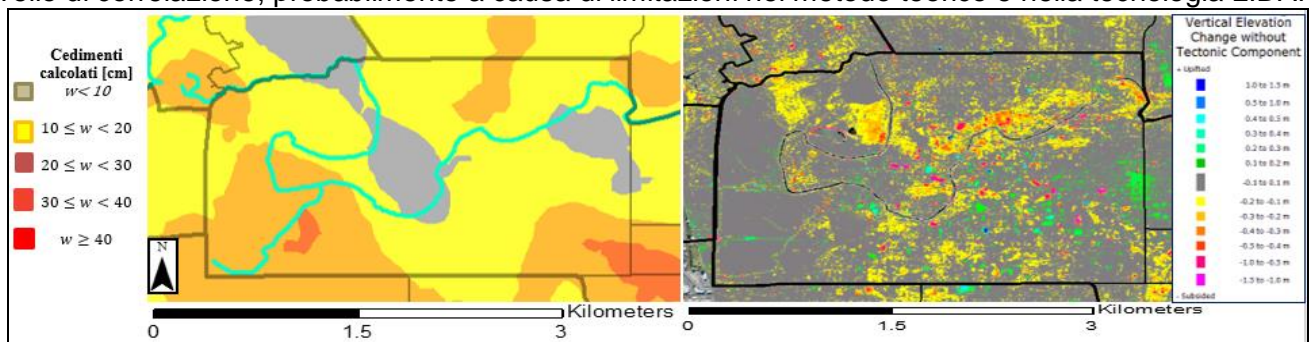


Figura 5. Confronto tra mappe dei cedimenti calcolati e rilevati da LIDAR.

## 5. Conclusioni

Applicando la procedura di automatizzazione proposta per l'elaborazione di indagini in-situ, è stato possibile trattare una gran mole di dati disponibile per la città di Christchurch. Inoltre, l'analisi spaziale ha consentito la rappresentazione sull'intera area della distribuzione degli indicatori di liquefazione. I risultati ottenuti rappresentano il punto di partenza per lo studio della correlazione tra i valori degli indicatori dell'effetto al suolo della liquefazione e danno osservato. Tale approccio oltre ad essere un ottimo strumento di pianificazione territoriale alla scala della microzonazione sismica, consente anche la possibilità di programmare nuove campagne di indagini per le zone più critiche (a maggior rischio).

## 6. Bibliografia

- Idriss I.M., Boulanger R.W. (2008). Soil liquefaction during earthquakes. MNO-12, Earthquake Engineering Research Institute, 242p.
- Idriss I.M., Boulanger R.W. (2014). CPT and SPT based liquefaction triggering procedures. Department of Civil and Environmental engineering, University of California at Davis.
- Iwasaki T., Tatsuoka F., Tokida K., Yasuda S. (1978). A Practical method for assessing soil liquefaction potential based on case studies at various sites in Japan. [conference] // 2nd International conference on Microzonation. - 1978. - pp. 885-896.
- Robertson P. (1990). Soil classification using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, 7(1):151-158.
- Robertson P. and Wride C.E. (1998). Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, 35:442-459.
- Seed H.B., Idriss I.M. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 97(SM9): 1249-1273.
- van Ballegooy S., Malan P., Lacrosse V., Jacka M.E., Cubrinovski M., Bray J.D., O'Rourke T.D., Crawford S.A., Cowan H. (2014). Assessment of Liquefaction-Induced Land Damage for Residential Christchurch. Earthquake Spectra, Volume 30, No. 1, pages 31-55, February 2014.
- Zhang G., Robertson P.K., Brachman R.W.I. (2002). Estimating liquefaction-induced ground settlements from CPT for level ground. Canadian Geotechnical Journal, 39, 1168-80.